

甘肃寨上金矿床的矿石建造特征及成因

刘家军¹, 毛光剑¹, 吴胜华¹, 马星华², 李立兴³, 刘光智⁴, 廖延福⁴, 郑卫军⁴

1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;

2. 北京大学地质学系, 北京 100871;

3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

4. 武警黄金第五支队, 陕西 西安 710100

摘要:位于西秦岭礼(县)—岷(县)成矿带西段的寨上金矿床, 是近年发现的1个大型微细浸染型金矿。寨上金矿床的矿石建造可分为氧化矿石和原生矿石两大自然类型。其中原生矿石建造又可分为6种: 碎裂岩型、碎裂岩化碳质板岩型、碎裂岩化粉砂质及泥质板岩型、碎裂岩化灰岩型、钙质板岩型和强硅化蚀变角砾岩型。根据热液矿脉中矿物特点, 可将矿石中矿物共生组合分为少硫化物—石英类、含As黄铁矿—毒砂—石英类、多金属硫化物—石英—白钨矿—方解石类和少硫化物—砷化物—碳酸盐类。在矿床形成过程中, 深源热液参与可能对金的活化迁移起到重要作用, 构造体制转换使流体稳定体系发生改变而造成金的富集成矿。矿床成因属于中低温热液矿床。

关键词: 矿石建造; 矿物组合; 矿床成因; 寨上金矿床; 甘肃省

中图分类号: P618.51 文献标识码: A 文章编号: 1005-2518(2010)01-0011-05

西秦岭地区是继美国卡林金矿省之后在我国境内发现的大规模卡林—类卡林型金矿床集中地之一。近30年来在该区不断发现了一系列不同规模的大、中、小型的金矿床和矿点, 如阳山、八卦庙、金龙山超大型金矿, 鹿儿坝、李坝、东北寨大型金矿等。甘肃寨上金矿床是近年来在西秦岭地区发现的又一十分重要的大型金矿^[1-2], Au储量已超过80 t, 资源前景乐观, 是1个有望达到百吨的超大型金矿床。通过对寨上金矿床矿石建造特征及其成因进行研究, 有利于揭示矿床形成机制, 进一步促进该地区金矿深部找矿勘探工作。

1 矿床基本特征

寨上金矿床位于西秦岭褶皱带中的礼(县)—岷(县)成矿带西端^[3](图1)。区内断裂与褶皱发育, 以纵贯全区的高桥—礼县大断裂为主体, 平行排列的次级断裂发育。礼—岷成矿带东、西段岩浆活动各异: 东段强烈, 具多旋回、多期次活动特征, 中川、柏家庄、碌碡坝、阎井、教场坝5个印支—燕山期酸性岩体呈岩基产出^[4], 产有李坝、金山、马泉等金矿; 西段岩浆活动不明显, 是否有深成岩体存在争议, 产有鹿儿坝和寨上金矿床。

寨上金矿区泥盆纪和二叠纪地层出露广泛, 泥盆纪地层主要为中、上泥盆统砂岩、粉砂质板岩、泥

灰岩, 二叠统为各类砾岩、砂岩、泥质、碳质板岩。金矿床赋存于中泥盆统(南矿带)、下二叠统(北矿带)中。金矿体明显受NWW-NW向断裂的控制(图1)。已发现的金矿体都赋存于容矿层中的构造破碎带内。

金矿体多呈层状、似层状和透镜状产出, 与围岩界线不清楚, 矿体边界须依照化学分析数据加以圈定。但矿体的围岩蚀变较显著, 以硅化和碳酸盐化最为普遍。在围岩蚀变较强烈的地段, 金属硫化物发育, 矿化较好。

组成金矿石的矿物种类较多。迄今为止, 我们鉴定并确认的矿物达40种。既有大量硫化物、硫盐、氧化物及含氧盐类矿物, 又有砷化物、自然元素及金属互化物等罕见矿物。

矿石结构主要有自形、半自形、他形、草莓状、交代、环带、碎裂等。矿石构造有脉状—网脉状、角砾状、浸染状、斑点状、团块状、放射状、块状、晶簇状等。

对于寨上金矿床的形成时间, 路彦明等^[5]利用石英和绢云母⁴⁰Ar/³⁹Ar定年分析后, 认为该矿床形成于燕山晚期(130 Ma)。

2 矿石建造

寨上金矿床的矿石建造可分为氧化矿石和原生矿石两大自然类型, 以原生矿石为主体。

收稿日期: 2009-07-31; 修订日期: 2009-12-10.

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 40773036)、国家重点基础研究发展规划(编号: 2006CB403500)、高等学校学科创新引智计划(编号: B07011)、教育部长江学者和创新团队、中国人民武装警察部队黄金指挥部勘查项目联合资助。

作者简介: 刘家军(1963-), 男, 湖北仙桃人, 教授, 从事贵金属、有色金属、分散元素等矿床学、矿床地球化学研究工作。E-mail: liujiajun@cugb.edu.cn

2.1 原生矿石

原生矿石一般位于地表 40 m 以下,局部地段较浅。受原岩岩性和成分的影响,原生矿石的颜色变化较大,多呈深灰色,其次为灰白、浅灰色。按原岩类型划分为碎裂岩型、碎裂岩化碳质板岩型、碎裂岩化粉砂质及泥质板岩型、碎裂岩化灰岩型、钙质板岩型和强硅化蚀变角砾岩型。

碎裂岩型:矿石破碎强烈,具水胀性,遇水变软,有较多的细粒状硅质小颗粒或小团块,微细粒、细粒他形一半自形晶黄铁矿发育,常伴生有辉锑矿集合体,不易氧化。地表常呈黄褐色、红褐色,原生金矿石新鲜面呈灰黑色、灰色、黑色等,矿石多呈小角砾状、泥状,风化干燥后见有白色粉状物,为本区最主要矿石原岩类型。

碎裂岩化碳质板岩型:矿石含碳质高,一般呈灰色、灰黑色、黑色等,部分弱风化的矿石略显灰白色,肉眼可见风化的白色矿物鳞片。矿石呈泥状、角砾状、团块状等,破碎程度不等,含细粒状硅质颗粒,粒径 0.1~1 mm。金属矿物以细粒、微细粒,他形一半自形黄铁矿、毒砂最为常见,常伴生有辉锑矿集合体。矿石中夹有石英和方解石细脉,此类矿石不易被氧化,在 11、19 号矿脉中常见。

碎裂岩化粉砂质及泥质板岩型:矿石易氧化,地表氧化矿石颜色混杂(红褐色、灰红色、灰黄色),破碎、松散,有的呈泥状,深部呈青灰色,岩石易碎。

强硅化蚀变角砾岩型:硅化强烈,矿石中构造角砾发育,原岩多属于构造角砾岩,胶结物以硅质为主,含多金属硫化物,矿石致密坚硬,不易破碎。主要发育在 31 号矿脉西段,21、19 号矿脉中也有少量此类矿石。

碎裂岩化灰岩、钙质板岩型:岩石较破碎,岩石裂隙或层理中充填泥质及钙质等组分。矿石为灰色,发育微细粒、细粒他形一半自形晶黄铁矿,此类型在 41、32、31 号矿脉中常见。

2.2 氧化矿石

氧化矿石产于地表和近地表,大致在地表以下 0~40 m 之间,由原生矿体经表生风化淋滤作用而形成。矿石一般呈黄褐色、棕褐色、红褐色。氧化带受断裂控制,局部开阔延伸较深。氧化矿石中矿物种类简单,主要是粘土矿物及铁、铜、锑等的氧化物(如针铁矿、纤铁矿、蓝铜矿、孔雀石等),偶见自然金。氧化矿石中金的含量与原生矿中金属硫化物矿化强度密切相关,即与原生矿石的品位有密切联系。

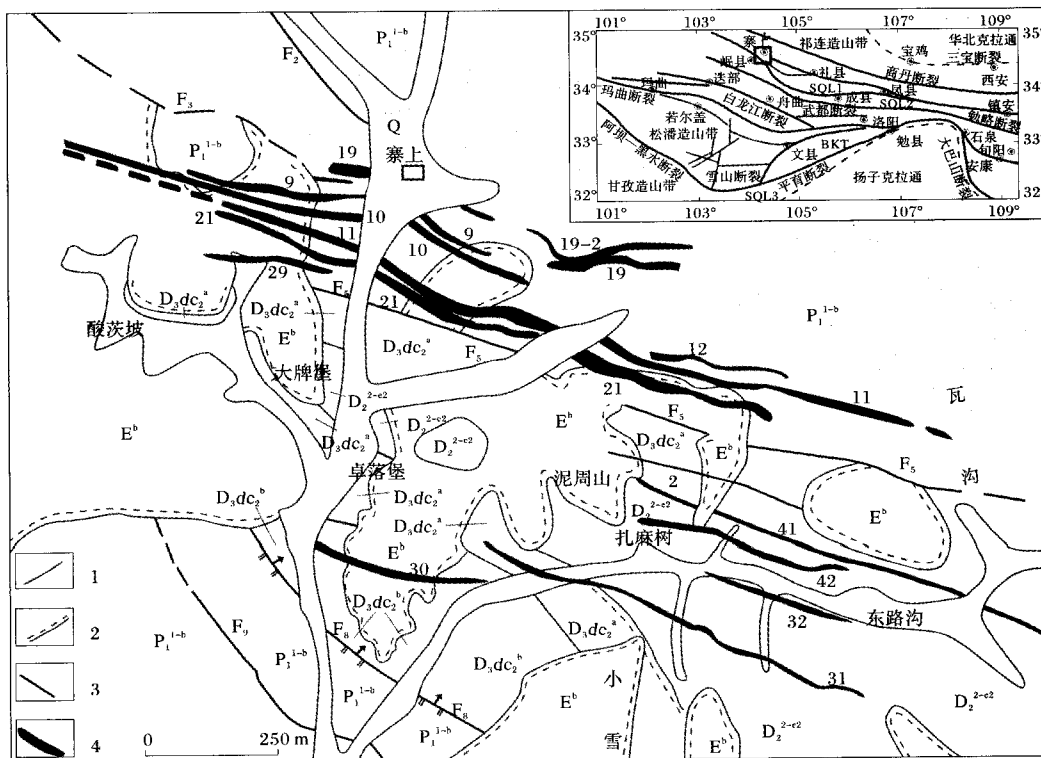


图 1 寨上金矿床矿区地质略图

Q—第四系; E^b—老第三系砾岩; P₁^{1-b}—下二叠统含碳质板岩夹砂岩; D₃dc₂^a—上泥盆统大草滩群 A 组粉砂质板岩夹石英砂岩;

D₃dc₂^b—上泥盆统大草滩群 B 组粉砂质板岩; D₂^{2-c2}—中泥盆统灰岩、钙质板岩; 1. 地层界线; 2. 角度不整合线;

3. 断层及编号; 4. 金矿体及编号

3 矿物组合

矿床中矿物种类相当丰富。我们通过显微镜下鉴定、电子探针分析后确认的矿物达到40种,包括自然元素及金属互化物、硫化物、硫盐矿物、碲化物、氧化物及含氧盐类等矿物(表1、图2)。

根据热液矿脉中矿物特点,可将原生矿石建造中的矿物共生组合分为4类。

3.1 少硫化物—石英类

矿石中矿物以中—细粒自形、半自形的黄铁矿和

粗粒石英为主。黄铁矿常呈中细粒团块状、浸染状产于同期的石英脉或围岩中,矿化蚀变的黄铁矿粒级一般在0.01~1 mm之间。石英常以规模不等的脉体出现。具有此类矿物组合的金矿石,Au含量一般较低,在0.01~0.1 g/t之间,显示矿化较弱,金仅是初步富集。

3.2 含As黄铁矿—毒砂—石英类

该矿物组合在金矿床中普遍存在,发育较好,主要产于细脉状的石英或强硅化带中。含砷黄铁矿颗粒较细,一般<0.01 mm,有的具有环带结构,常呈五角十二面体晶形产于石英脉中或脉壁。毒砂晶粒非

表1 金矿石中矿物组成

类型	自然元素与金属互化物	硫化物及硫盐矿物	碲化物	氧化物及含氧盐类
主要	自然金	黄铁矿、毒砂、黝铜矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、辉锑矿、铜蓝	碲汞矿、碲镍矿	石英、方解石、铁白云石、白钨矿、针铁矿、赤铁矿、纤铁矿、蓝铜矿、孔雀石、高岭石
次要	含银自然金	硫锑铜矿、辉锑铅矿		重晶石、石膏、菱铁矿、白铅矿
微量	自然铜、自然镍及铜—锌—镍—锡—铁合金矿物	车轮矿、辉钼矿、辉砷镍矿、辉铜矿、斑铜矿		菱锰矿、天青石、磁铁矿、金红石

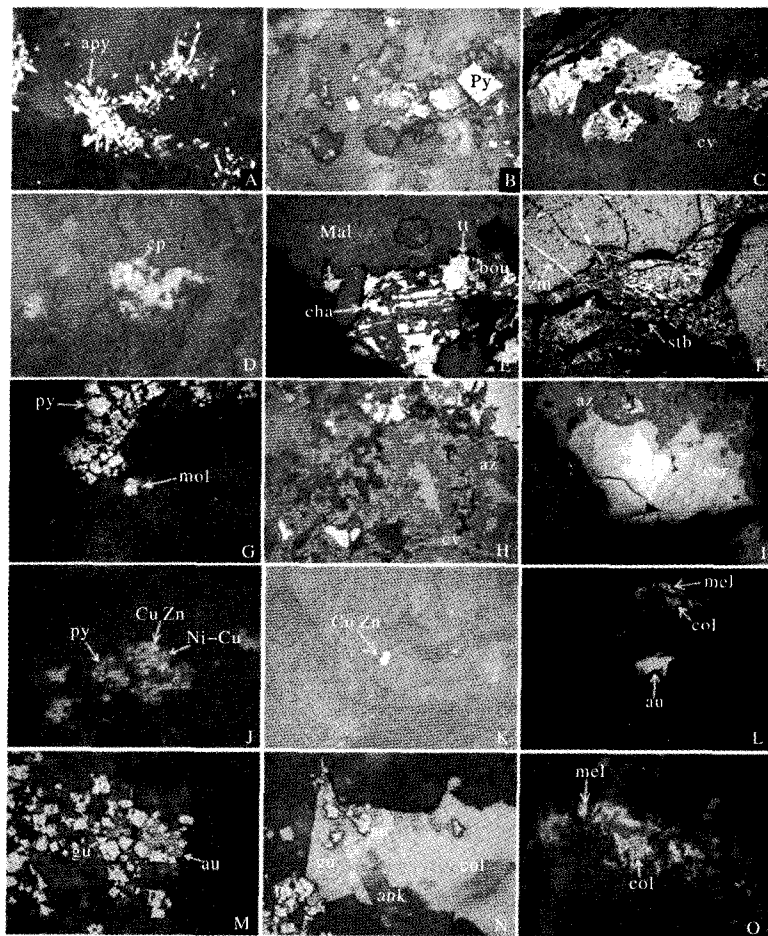


图2 金矿石中主要矿物组成

均为单偏光照片;放大倍数及样品号如下:A-500x,06ZS-40;B-500x,06ZS-16;C-100x,06ZS-80;D-1000x,06ZS-27;E-100x,06ZS-51;F-100x,06ZS-51;G-200x,06ZS-43;H-500x,06ZS-53;I-100x,06ZS-53;J-1000x,06ZS-84;K-1000x,06ZS-6;L-200x,07ZS-48;M-500x,07ZS-48;N-500x,07ZS-48;O-1000x,07ZS-48;py-黄铁矿;apy-毒砂;tt-黝铜矿;cp-黄铜矿;gn-方铅矿;sp-闪锌矿;stb-辉锑矿;cv-铜蓝;zin-辉锑铅矿;cha-硫铜锑矿;bou-车轮矿;au-自然金;Cu-Zn-铜锌合金;Ni-Cu-镍—铜—锡—锌—铁合金矿物;col-碲汞矿;mel-碲镍矿;az-蓝铜矿;mal-孔雀石;cer-白铅矿;ank-铁白云石

常细小, 颗粒 $<0.05\text{ mm}$, 多呈半自形—自形的矛头状、针状(图 2-A)。具有该类矿物组合的矿石, 普遍发育细脉状、浸染状构造, Au 含量多为 $1\sim5\text{ g/t}$, 部分矿化强烈的地段 Au 含量可达 10 g/t , 显示矿化强度较高。

3.3 多金属硫化物—石英—白钨矿—方解石类

此类矿物组合也是金矿床中普遍存在的热液矿物组合。金属矿物有黄铁矿、黝铜矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、辉锑矿、硫锑铜矿、辉锑铅矿、车轮矿、自然金、铜蓝、辉钼矿等(图 2-B、H), 局部可见氧化矿物(图 2-H、I)。部分矿物特征描述如下。

(1) 黝铜矿: 颗粒粒度变化较大, 肉眼所见到的黝铜矿颗粒 $>1\text{ mm}$, 普遍在 $0.01\sim0.2\text{ mm}$ 之间(图 2-D、E、F)。根据黝铜矿中的元素含量, 可将其划分为锑黝铜矿、锌锑黝铜矿、铁锑黝铜矿、铁锌锑黝铜矿等亚种。

(2) 硫铜锑矿: 与黝铜矿紧密连生在一起呈团块状产出, 形态为柱状和颗粒状, 粒度变化大($0.01\sim2\text{ mm}$), 因其颜色也为铅灰色, 不易与黝铜矿区别。但在反光显微镜下, 其反射色为白色, 反射率明显比黝铜矿高(图 2-E), 非均质性明显。

(3) 车轮矿: 粒度小(0.005 mm 左右), 形态不规则, 呈他形粒状分布于硫铜锑矿中(图 2-E)。其反射色为白色, 反射率比硫铜锑矿略低。

(4) 辉锑铅矿: 与辉锑矿、闪锌矿紧密连生在一起呈放射状、团块状集合体产出, 形态为细长柱状(图 2-F)、颗粒状, 粒度变化大($0.01\sim4\text{ mm}$), 因其颜色也为钢灰色, 不易与辉锑矿区别。但在反光显微镜下, 其反射色为白色, 反射率比辉锑矿高, 非均质性明显。

(5) 辉钼矿: 粒度小(0.01 mm 左右), 形态较规则, 呈长方形、正方形的板状体。通过显微镜下观察, 其反射色为亮白色, 反射率相当高, 多色性明显, 非均质性强(图 2-G)。因其硬度低, 部分辉钼矿磨光较差。

(6) 白钨矿: 呈浅黄色、灰白色, 颗粒细小, 粒径为 $0.05\sim0.6\text{ mm}$, 主要呈浸染状产出。在紫外线照射下发浅蓝色荧光。在反光显微镜下, 白钨矿的切面形态为菱形、他形粒状, 反射色呈灰白色, 反射率很低, 但高于石英、方解石, 非均质性与反射多色性不明显, 具有明显的乳白色内反射。

具有该类矿物组合的矿石, Au 含量一般都较高, 多在 5 g/t 以上, 高者达 50 g/t 。

3.4 少硫化物—碲化物—碳酸盐类

在该组合矿物中, 以碲化物、铁白云石、自然金及其他金属互化物为主(图 2-J、K、L、M、N、O), 方铅

矿、闪锌矿等硫化物较少见。

(1) 自然金: 形状不规则, 粒径为 $50\sim150\text{ }\mu\text{m}$, 有的含 Ag 可达 9% , 形成含银自然金。反射色为金黄色。其分布极不均匀, 呈单个颗粒产出(图 2-L), 或产于黄铁矿颗粒之间(图 2-M), 或与碲化物、方铅矿、铁白云石紧密连生在一起(图 2-N)。

(2) 碲化物: 在显微镜下观察到的碲化物有碲汞矿和碲镍矿。碲汞矿颗粒细小($<0.05\text{ mm}$), 反射色为白色、浅灰褐色, 均质性, 无内反射, 反射率高于方铅矿(图 2-N)。碲镍矿颗粒细小($<0.05\text{ }\mu\text{m}$), 个别达 1 mm , 反射色为白色、淡玫瑰色, 非均质性较强(图 2-O)。

(3) 铁白云石: 在石英—方解石脉体中的铁白云石大多呈自形菱形(图 2-N), 粒径为 $0.2\sim4\text{ mm}$ 不等。反射色为深灰色, 内反射色为乳白色—棕黄色, 具强非均质性。在透射显微镜下观察到明显的生长环带结构。对其进行电子探针分析表明, 该矿物中 Fe、Mg 元素含量变化较大, 在颗粒环带的内带铁含量总体较高, 而外带铁含量降低。

具有该类矿物组合的金矿石, Au 含量一般大于 2 g/t 。

4 矿床成因

根据矿石建造特征、矿物共生组合以及热液矿脉的穿插关系等特点, 可将寨上金矿床划分为 3 个成矿期: 沉积—成岩期、中低温热液期、表生氧化期^[6-8]。中低温热液期又可以划分为 5 个成矿阶段: 少硫化物—石英早阶段(I); 含 As 黄铁矿—毒砂—石英主阶段(II); 多金属硫化物—白钨矿—石英—碳酸盐主阶段(III); 少硫化物—碲化物—碳酸盐主阶段(IV); 碳酸盐晚阶段(V)。

因在金矿石中存在自然金与铁白云石、含 As 黄铁矿等密切共生的现象, 故可将矿石中显微自然金的形成过程解释为: 含矿热液的弱酸性使赋矿岩石中的含 Fe、Mn 碳酸盐溶解, 释放 Fe、Ca、Mg、Mn 而进入含矿热液体系; 溶解 Fe 的大量硫化物, 以及溶解 Fe、Ca、Mg、Mn 又与 CO_3^{2-} 结合形成方解石、菱铁矿、菱锰矿、白云石和铁白云石脉等, 导致含矿热液中金过饱和而发生沉淀, 形成自然金颗粒, 并与含 As 黄铁矿、铁白云石等矿物密切共生; 在成矿流体中 $f\text{S}_2$ 降低, $f\text{Te}_2/f\text{S}_2$ 较高时, 金以碲金络合物 $[\text{Au}(\text{HTe})_2]^-$ 形式进行迁移。由于成矿流体 pH 值的增大以及温度、压力等因素的变化, 使金碲络合物的稳定性被破坏而使金发生沉淀。

在寨上金矿床形成的过程中, 构造热效应和地

热梯度是驱动流体活化迁移的主要因素。泥盆系和二叠系一套含金量较高的热水沉积地层为金的预富集和成矿期流体与围岩的物质交换奠定了基础,本区特有的构造背景对成矿起到积极作用,构造变形不但提供了构造热,而且为成矿提供了良好的空间。成矿流体与围岩发生充分的物质交换后,运移到裂隙发育部位,因流体的混合和围压突然降低,成矿流体产生强烈的沸腾作用,使成矿物质沉淀富集。在热液成矿作用的第Ⅱ、Ⅲ主阶段,因成矿流体中富硫而形成了大量黄铁矿、毒砂、黄铜矿、黝铜矿、辉锑矿、方铅矿、闪锌矿等硫化物和硫酸盐矿物,但在热液成矿作用的第Ⅳ主阶段,成矿流体中硫较贫乏,成矿环境为强还原条件下的局部缺氧、缺硫的环境,这时形成的自然金属、金属互化物以及碲化物矿物,与铁白云石等碳酸盐矿物紧密连生,分布于黄铁矿颗粒之间或其边缘。因此,赋矿围岩中含Fe碳酸盐矿物溶解释放Fe以及溶解Fe的大量硫化物,既是寨上金矿床中存在显微可见自然金的最重要因素,又是金沉淀富集的有利条件。去碳酸盐化作用可能是矿床中金的具体沉淀机制。

致谢 在野外工作中,得到武警黄金第五支队的刘霞、华曙光、王增涛、郭红乐等同志的热情帮助,在此深表谢意。

参考文献

- [1] 刘新会,于岚,张复新,等.甘肃岷县寨上金矿床地质特征及成因初探[J].地质与勘探,2005,38(4):45-53.
- [2] 路彦明,李汉光,陈勇敢,等.甘肃岷县寨上金矿地质地球化学特征及成因[J].地质与勘探,2006,42(4):25-31.
- [3] 温志亮,卞伟强,徐克红,等.甘肃东南部地区成矿区带划分及找矿方向[J].地质与勘探,2005,41(4):1-5.
- [4] 叶海.礼岷地区五大岩体地球化学勘查及找矿预测[J].甘肃冶金,2005,23(3):43-45.
- [5] 路彦明,李汉光,陈勇敢,等.甘肃岷县寨上金矿地质地球化学特征及成因[J].地质与勘探,2006,42(4):25-31.
- [6] 刘家军,毛光剑,马星华,等.甘肃寨上金矿床Cu-Ni-Zn-Sn-Fe多金属互化物、S合金矿物的发现及其地质意义[J].中国科学(D辑),2008,38(4):414-423.
- [7] 刘家军,刘光智,郑卫军,等.甘肃寨上金矿床中白钨矿体的发现及地质特征[J].中国地质,2008,35(6):1057-1064.
- [8] 马星华,刘家军,李立兴,等.甘肃寨上金矿床成矿流体性质与成矿作用探讨[J].岩石学报,2008,24(9):2069-2078.

Ore Formation Characteristics and Genesis of the Zhaishang Gold Deposit, Southern Gansu

LIU Jiajun¹, MAO Guangjian¹, WU Shenghua¹, MA Xinghua², LI Lixing³, LIU Guangzhi⁴, LIAO Yanfu⁴, ZHENG Weijun⁴

1.State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2.Department of Geology, Peking University, Beijing 100871, China;

3.Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

4.No.5 Gold Geological Party of CAPF, Xi'an 710100, Shaanxi, China

Abstract: Zhaishang gold deposit is a recently discovered large Carlin-type disseminated gold deposit, which is located in the western part of the Min-Li metallogenetic belt, western Qinling Mountains. Two main types of ore formation, namely, oxidized ore and primary ore, are recorded in gold ores. According to the differences of ore-host rocks, six types of primary ore formations can be distinguished: cataclasite, cataclastic carbonaceous slate, cataclastic silty slate, cataclastic carbonates, calcareous slate, and intense alternation breccia. Based on the characteristics of the primary ores, mineral assemblages in the gold ores can be divided into four types: assemblages I, represented by the association of minor sulfide-quartz, assemblages II, represented by the association arsenic-bearing pyrite-arsenopyrite-quartz, assemblages III, represented by the common association of polymetallic sulfide-quartz-scheelite-calcite, and assemblages IV, represented by the association minor sulfide-telluride-carbonate such as coloradoite, melonite, calcite, ankerite, siderite. On the metallogenic process, deep origin (magmatic and/or metamorphic) hypothermal fluids may take a more important role in gold activation, though structural transition leads to gold and sulfides separate out from ore-forming by changing the conditions of the primary well-evolved fluids. The genesis belong to low and middle hydrothermal deposit.

Key words: Ore formation; Mineral association; Genesis; Zhaishang gold deposit; Gansu Province